

ผลกระทบของความลื่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน
 ที่เกิดจากการตอกเข็ม ๐๑.๓๕ ม. x ๑.๓๕ ม.
 ในการก่อสร้างอาคารส่วนผลิตน้ำ ณ โรงกรองน้ำบางเขน
 การประปานครหลวง



นายบรรเจ็ด กาญจนเจตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๓๒

ISBN 974-569-913-6

016166

I1030325X

The Effect of Vibration and Lateral Soil Movement due to Pile Driving
□0.35 m. x 0.35 m.in the Construction of Water Treatment Building
at Bangkhen Water Treatment Plant of the Bangkok Metropolitan
Waterworks Authority



Mr. Banched Karnchanachettanee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-569-913-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของความล้นสะเทือนและการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง
ของชั้นดินที่เกิดจากการตอกเข็ม ๐๑.๓๕ ม. x ๐.๓๕ ม.
ในการก่อสร้างอาคารส่วนผลิตน้ำ ณ โรงกรองน้ำบางเขน
การประปานครหลวง

โดย

นายบรรเจิด กาญจนเจตน์

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิเชียร เต็งอำนวย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ชนะเจริญกิจ)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

บรรณเจ็ด กาญจนเจตน์ : ผลกระทบของความลั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ
ชั้นดินที่เกิดจากการตอกเสาเข็ม $0.35\text{m.} \times 0.35\text{m.}$ ในการก่อสร้างอาคารส่วนผลิตน้ำ ณ โรง
กรองน้ำบางเขน การประปานครหลวง (THE EFFECT OF VIBRATION AND LATERAL
SOIL MOVEMENT DUE TO PILE DRIVING $0.35\text{m.} \times 0.35\text{m.}$ IN THE CONSTRUCTION
OF WATER TREATMENT BUILDING AT BANGKHEN WATER TREATMENT PLANT OF
THE BANGKOK METROPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผศ.ดร. สุรพล จิวาลักษณ์, 228 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบของความลั่นสะเทือนและ การเคลื่อนตัวทาง
ด้านข้างของชั้นดินที่เกิดจากการตอกเสาเข็ม $0.35\text{m.} \times 0.35\text{m.}$ ของการก่อสร้างอาคารกวนตกตะกอน
หมายเลข 9, 10 และอาคารกรองน้ำ โรงกรองน้ำบางเขน การประปานครหลวงซึ่งได้ทำการวัด ทดสอบ
ความลั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการตอกเสาเข็ม 414 ตัน วัดบนเสา และ ผนังของอาคารเดิมข้างเคียง
ใช้เครื่องมือออสซิลโลสโคปพร้อมอุปกรณ์วัดความลั่นสะเทือน วัดที่ระยะห่างต่าง ๆ ในรัศมี 15.00 เมตร
จากแนวริมอาคารเดิมข้างเคียง เริ่มวัดเมื่อปลายเสาเข็มจมลึก +17.50 เมตร ถึง +14.00 เมตร
จากระดับกำหนด ได้ค่าความเร็วของการลั่นของอนุภาคของความลั่นสะเทือนสูงสุด 3.7 มม./วินาที ที่
หลังงานการตอก 47,000 จูล ระยะห่าง 4.00 เมตร และปลายเสาเข็มจมลึก +15.00 เมตร ซึ่งมีค่า
ต่ำกว่าบรรทัดฐานด้านอันตรายต่อโครงสร้างทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมที่กำหนดไว้ (5 มม./วินาที)
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้สมการ $V = \sqrt{\text{พลังงาน} / \text{ระยะ}}$ ใช้ในการควบคุมและคาดคะเนความลั่นสะ
เทือนเนื่องจากการตอกเสาเข็ม ในบริเวณพื้นที่ซึ่งดินมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมคล้ายคลึงกันได้ สำหรับการวัด
ระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินใช้เครื่องมืออินคลิโนมิเตอร์ ติดตั้งเครื่องมือ 3 จุดที่อาคารทั้ง 3
ห่างจากแนวริมอาคารเดิมข้างเคียง 2.00 เมตร ในแนวจุดศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มที่ตอกด้วยวิธีการ
เจาะนำก่อนและกลุ่มเสาเข็มทั้งหมด เสาเข็มที่ตอกด้วยวิธีเจาะนำก่อนที่อาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 9
, 10 และอาคารกรองน้ำ มีจำนวน 49, 49 และ 316 ตัน ตามลำดับ มีระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดในทิศ
ทางตั้งฉากกับแนวอาคารเดิม ที่อาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 9, 10 และอาคารกรองน้ำ เท่ากับ 8.35
มม., 11.49 มม. และ 12.83 มม. ตามลำดับ และจากการตอกเสาเข็มทั้งหมดที่อาคารกวนตกตะกอนหมายเลข
เลข 9, 10 อาคารละ 513 ตัน และอาคารกรองน้ำ 1,629 ตัน มีระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดที่อาคารกวน
ตกตะกอนหมายเลข 9, 10 และอาคารกรองน้ำ เท่ากับ 29.9 มม., 31.13 มม. และ 34.25 มม. ตาม
ลำดับ ผลที่ได้จากการวัดในการตอกเสาเข็มทั้งหมด จะมีค่าต่ำกว่าระยะการเคลื่อนตัวในทางปฏิบัติที่ยอมให้
100 มม. อย่างไรก็ตาม ไม่พบความเสียหายของอาคารข้างเคียงจากการตอกเสาเข็มครั้งนี้.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

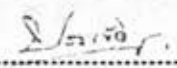
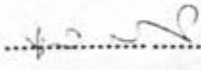


พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

BANCHERD KARNCHANACHETTANEE : THE EFFECT OF VIBRATION AND LATERAL SOIL MOVEMENT DUE TO PILE DRIVING $\square 0.35\text{m.} \times 0.35\text{m.}$ IN THE CONSTRUCTION OF WATER TREATMENT BUILDING AT BANGKHEN WATER TREATMENT PLANT OF THE BANGKOK METROPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. SURAPHOL CHIVALAK. ENG.D. 228 PP.

The objects of this thesis were studying the effect of vibration and lateral soil movement due to pile driving $\square 0.35\text{m.} \times 0.35\text{m.}$ in the construction of Clarifier No. 9, 10 and Filter Bed. Vibration measurement and monitoring were performed to evaluate the peak particle velocity on wall and column of existing structure at various distant during pile driving by installed velocity transducer within distant 15.00 m. when pile tip elevation +17.50 m. to +14.00 m. from soil datum. The piles had to be driven 414 piles. Maximum value of particle velocity was 3.7 mm./sec at pile tip elevation +15.00 m. energy 47,000 joules and distant 4.00 m. It was not greater than limit and criteria for structural and architectural damage (5 mm./sec). Values of particle velocity can be calculate from \sqrt{E} / d . It seems therefore possible to predict approximately vibration intensity due to pile driving in the same soil condition. For measurement the lateral soil movement, inclinometer instruments were installed 3 points in the site, distant 2.00 m. from existing structure and centerline of the pile driving groups. Piles had to be driven by pre-augering in Clarifier No. 9, 10 and Filter Bed were 49, 49 and 316 piles respectively. Maximum value of lateral soil movement in Clarifier No.9, 10 and Filter Bed were 8.35 mm., 11.49 mm. and 12.83 mm. respectively. Maximum value of soil movement for total of pile driving in Clarifier No. 9, 10 and Filter Bed were 513, 513 and 1,629 piles with the maximum displacement equal to 29.92 mm., 31.13 mm. and 34.25 mm. respectively. In practice, the acceptable lateral soil movement is not more than 100 mm. However, no damage noticeable in nearby building.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 



กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล จิวาลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำทาง ตรวจสอบ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิเชียร เต็งอำนวย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี ธนะเจริญกิจ และ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบ แนะนำและแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดี

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อห้องปฏิบัติการและห้องวิจัยปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์เพื่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

การทดสอบในภาคสนามผู้เขียนได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจากการประปานครหลวง บริษัทวิศวกรที่ปรึกษาไทยเอ็นยีเนียร์ริงคอนซัลแตนท์ จำกัด และบริษัท Hyundai แห่งประเทศเกาหลี จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คุณค่าและคุณงามความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่บิดา มารดา และพระคุณของครู อาจารย์ ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอนให้ความรู้ต่าง ๆ แก่ผู้เขียนมาจนครบเท่าทุกวันนี้

บรรเจิด กาญจนเจตน์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูปประกอบ	ฎ
สารบัญตารางประกอบ	ธ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิจัย	5
1.2 ขอบเขตของการศึกษาและวิจัย	9
1.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษา วิจัย	9
1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและควบคุม	10
1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	11
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาและวิจัย	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานการศึกษาในอดีต	13
2.1 คลื่น	13
2.1.1 ประเภทของคลื่น	13
2.1.2 ธรรมชาติของคลื่น	14
2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (Displacement) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ของอนุภาค	15
2.2 การแผ่ของคลื่น (Propagation of Waves) ในตัวกลาง ยืดหยุ่นไม่มีขอบเขตจำกัด (Elastic Half Space)	18
2.2.1 คลื่นความเค้น (Stress Wave) ในทฤษฎียืดหยุ่น ไม่มีขอบเขตจำกัด (Elastic Half Space)	18

2.2.2	ชนิดของคลื่น (Type of Wave) ในทฤษฎียึดหยุ่น ไม่มีขอบเขตจำกัด	18
2.2.3	ความเร็วของคลื่นความเค้นในทฤษฎียึดหยุ่นไม่มี ขอบเขตจำกัด	18
2.2.4	การส่งผ่านและการเสื่อมของคลื่นความเค้น	21
2.3	การออกแบบฐานรากรับความสั่นสะเทือน	21
2.3.1	แบบจำลองที่ใช้	23
2.3.2	การสั่นอิสระที่มีความหนืด (Free Vibration with Viscous Damping)	23
2.3.3	การสั่นภายใต้แรงกระทำที่มีความหนืด (Forced Vibration with Viscous Damping System).	27
2.3.4	มาตรฐานที่ควรคำนึงในการออกแบบฐานรากรับน้ำหนักพลวัต (Criteria for a Satisfactory Foundation for Dynamic Load)	29
2.3.5	ข้อเสนอแนะบางประการในการออกแบบฐานรากรับความ สั่นสะเทือนเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการกำจร (Resonance) และแนวทางลดผลของความสั่นสะเทือน	32
2.4	ผลกระทบของความสั่นสะเทือนที่มีต่ออาคารและโครงสร้างทางวิศวกรรม..	35
2.4.1	การเกิดความเสียหายของโครงสร้าง (Structure) เนื่องจากความสั่นสะเทือน	35
2.4.2	หน่วยวัดความรุนแรงของความสั่นสะเทือน	36
2.4.3	ระดับของความสั่นสะเทือนที่มีผลต่ออาคารและโครงสร้าง ทางวิศวกรรม และบรรทัดฐานด้านอันตราย (Damage Criteria)	48
2.5	ผลการตอบสนองของมนุษย์จากความสั่นสะเทือน	59
2.6	พฤติกรรมของความสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม	68
2.6.1	สนามคลื่นที่เกิดจากการตอกเสาเข็ม	68
2.6.2	ลักษณะของคลื่นที่ก่อกำเนิดจากการตอกเสาเข็ม	69
2.6.3	องค์ประกอบที่เป็นผลกระทบต่อการส่งถ่ายความสั่นสะเทือน	71

	2.6.4 การทรุดตัวทางไดนามิกเนื่องจากการตอกเสาเข็ม (Dynamic Settlement from Pile Driving)	82
	2.7 การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน	86
บทที่ 3	วิธีดำเนินการทดสอบสำหรับการศึกษา วิจัย	91
3.1	บทนำเรื่อง	91
3.2	เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดความลื่นสะเทือน	92
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความคุมการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน .	98
3.4	วิธีการตอกเสาเข็ม	115
3.5	สถานที่และตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	119
	3.5.1 สถานที่ทดสอบความลื่นสะเทือน	119
	3.5.2 สถานที่ทดสอบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน	125
3.6	ขั้นตอนในการทดสอบ	125
	3.6.1 ขั้นตอนในการทดสอบความลื่นสะเทือน	125
	3.6.2 การวัดทดสอบระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน	127
3.7	การวิเคราะห์ข้อมูล	141
	3.7.1 การวัดความลื่นสะเทือน	141
	3.7.2 การวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน	142
3.8	การติดตั้งแผ่นวัดการทรุดตัวในระดับลึก (Deep Settlement Plate)..	143
บทที่ 4	ผลการศึกษาและวิเคราะห์	144
4.1	ผลการทดสอบความลื่นสะเทือน	144
	4.1.1 ผลการทดสอบความลื่นสะเทือนเนื่องจากการตอกเสาเข็ม ฐานรากของอาคารกวางตกตะกอน หมายเลข 9	144
	4.1.2 ผลการทดสอบความลื่นสะเทือนเนื่องจากการตอกเสาเข็ม ฐานรากของอาคารกวางตกตะกอนหมายเลข 10	145
	4.1.3 ผลการทดสอบความลื่นสะเทือนเนื่องจากการตอกเสาเข็ม ฐานรากของอาคารกรองน้ำใหม่	146
4.2	ผลการทดสอบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน	146
4.3	การวิเคราะห์ผลการทดสอบความลื่นสะเทือน	147
4.4	การคาดคะเนระดับความรุนแรงของความลื่นสะเทือน	148
4.5	การวิเคราะห์ผลการทดสอบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน	149

	หน้า
4.6 แสดงผลการทรุดของชั้นดินที่ระดับลึก +14.00 เมตร	149
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา วิจัย และข้อเสนอแนะ	221
5.1 สรุปผลการศึกษา วิจัย	221
5.1.1 การวัดทดสอบและควบคุมความลื่นสะเทือน ที่เกิดขึ้นจากการตอกเสาเข็ม	221
5.1.2 การวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน	222
5.1.3 การทรุดตัวของชั้นดินในระดับเดียวกับระดับปลายเสาเข็ม	223
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป	224
เอกสารอ้างอิง	225
ประวัติ	228



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1.1	แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้ง โรงกรองน้ำบางเขน
	การประปานครหลวง กรุงเทพมหานคร 3
รูปที่ 1.2	ผังแสดงตำแหน่งที่ก่อสร้างอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 (Clarifier No.9), อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 (Clarifier No.10) บ่อกรองน้ำ (Filter Bed) และตำแหน่งหลุมเจาะดิน 4
รูปที่ 1.3	แสดงผลการเจาะสำรวจชั้นดิน 6
รูปที่ 1.4	แสดงผลการเจาะสำรวจชั้นดิน 7
รูปที่ 1.5	แสดงผลการเจาะสำรวจชั้นดิน 8
รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบอาร์โมนิค 14
รูปที่ 2.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งและเวลา 15
รูปที่ 2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่ง 17
รูปที่ 2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแผ่ ของคลื่นที่ค่าสัดส่วนบัวของค์ต่างๆ 20
รูปที่ 2.5	แสดงลักษณะการกระจายของคลื่นเมื่อเขย่าฐานรากวงกลม บนตัวกลางที่มีลักษณะ เนื้อเดียวกันตลอดเหมือนกันทุกทิศทาง และยึดหยุ่น ไม่มีขอบเขตจำกัด 22
รูปที่ 2.6	แสดงแบบจำลองของระบบมวล สปริงและตัวหน่วง 24
รูปที่ 2.7	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่กับเวลา กรณีความหน่วงวิกฤต 26
รูปที่ 2.8	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่กับเวลา กรณีโอเวอร์แดมป์ 26
รูปที่ 2.9	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่กับเวลา กรณีอันเดอร์แดมป์ 26
รูปที่ 2.10	แสดงเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่และของแรงที่มากระทำต่อมวล 27

	หน้า
รูปที่ 2.11 แสดงเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่และของแรงที่มากระทำต่อมวล	27
รูปที่ 2.12 แสดงเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่และของแรงที่มากระทำต่อมวล	27
รูปที่ 2.13 แสดงกราฟของคำตอบเมื่อแอมพลิจูดของแรงที่มากระทำมีค่าคงที่	30
รูปที่ 2.14 แสดงกราฟของคำตอบเมื่อแอมพลิจูดของแรงที่มากระทำ มีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความถี่เชิงมุม	31
รูปที่ 2.15 แสดงระบบการหมุนของมวล	31
รูปที่ 2.16 แสดงระดับความรุนแรงของความลั่นสะเทือน ที่ส่งผลกระทบต่อคนและสิ่งปลูกสร้าง	33
รูปที่ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของแอมพลิจูดสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ ที่ความถี่ต่าง ๆ จากข้อกำหนดต่าง ๆ	44
รูปที่ 2.18 แสดงค่า Vibrar Unit	45
รูปที่ 2.19 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของหน่วยวัด Vibrar จากข้อกำหนดของความรุนแรงของความ ลั่นสะเทือนตามตารางที่ 2.5	49
รูปที่ 2.20 แสดงความเร็วสูงสุดของอนุภาคที่ชี้ให้เห็นถึงความเสียหายของโครงสร้าง .	56
รูปที่ 2.21 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของระดับความลั่นสะเทือนในแกนตั้ง ที่มีต่อโครงสร้างทางวิศวกรรม	57
รูปที่ 2.22 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของระดับความลั่นสะเทือน ในแกนตั้งที่มีต่อโครงสร้างทางวิศวกรรม	61
รูปที่ 2.23 แสดงผลการตอบสนองของมนุษย์	62
รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบของคลื่นของความลั่นสะเทือนที่เชื่อว่ามีผลกระทบ ต่อการตอบสนองของมนุษย์	65
รูปที่ 2.25 แสดงการตอบสนองของมนุษย์ที่มีต่อการลั่นสะเทือน แบบ Transient ที่มีความหน่วง	66
รูปที่ 2.26 แสดงการเปรียบเทียบความลั่นสะเทือนที่ไม่มี ความหน่วง กับมาตรา REIHER และ MEISTER)	67
รูปที่ 2.27 แสดงสนามคลื่นที่เกิดจากการตอกเสาเข็ม	70
รูปที่ 2.28 แสดงค่าความเร็วของอนุภาคผกผันกับระยะทาง (d)	76
รูปที่ 2.29 แสดงผลของการเคลื่อนตัวของอนุภาคใน log-log scale ระหว่างความเร็วของการเคลื่อนตัวของอนุภาคกับ E_0/d	77

	หน้า
รูปที่ 2.30	แสดงลักษณะคลื่นที่เกิดจากการตอก Sheet Pile ,พลังงาน 36,300 จูล . 79
รูปที่ 2.31	แสดงรูปลักษณะคลื่นของความล้นสะเทือนในแนวตั้งระหว่างการตอกเสาเข็ม . 80
รูปที่ 2.32	แสดงความแข็งแรงของคอนกรีตกับระยะเวลาการบ่ม fc = 24,840 กิโลนิวตัน/วินาที ที่ 28 วัน 85
รูปที่ 2.33	แสดงข้อจำกัดระยะความปลอดภัย กับระยะการบ่มคอนกรีต สำหรับอัตราการตอกเสาเข็มด้วยพลังงาน 20,000 จูล 87
รูปที่ 2.34	แสดงการควบคุมความล้นสะเทือนเนื่องจากการตอกเสาเข็ม 89
รูปที่ 3.1	แสดงทรานสดิวเซอร์ (Velocity Transducer) 93
รูปที่ 3.2	แสดงการปรับเทียบทรานสดิวเซอร์ (Calibration Velocity Transducer) 93
รูปที่ 3.3	แสดงเส้นโค้งของการปรับเทียบทรานสดิวเซอร์ 95
รูปที่ 3.4	แสดงออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) 96
รูปที่ 3.5	แสดงเครื่องกรองสัญญาณ (Low Pass Filter) 96
รูปที่ 3.6	แสดงกล้องถ่ายภาพพร้อมกล้องดำ 97
รูปที่ 3.7	แสดงลักษณะของสายซิลด์ประเภทแกนร่วม (Coaxial) 99
รูปที่ 3.8	แสดงส่วนประกอบของอินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer) 100
รูปที่ 3.9	แสดงรูปร่างลักษณะของเซนเซอร์ (Sensor) 102
รูปที่ 3.10	แสดง Digitilt Indicator (รูปด้านบน), Aluminium Casing (รูปด้านบน) และ Digitilt Sensor (รูปด้านข้าง) 103
รูปที่ 3.11	แสดงหน้าปัทม์ตัวเลขข้อมูล 104
รูปที่ 3.12	แสดงสายต่อ (Electric Cable) 107
รูปที่ 3.13	แสดงลักษณะของปลอก (Inclinometer Casing) 108
รูปที่ 3.14	แสดงการติดตั้งปลอก 112
รูปที่ 3.15	แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลสำหรับบันทึกข้อมูลที่เป็นตัวเลขต่างๆ 114
รูปที่ 3.16	แสดงผังการตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 9 (Clarifier No.9) 116
รูปที่ 3.17	แสดงผังการตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 10 (Clarifier No.10) 117
รูปที่ 3.18	แสดงผังการตอกเสาเข็มอาคารกรองน้ำ (Filter Bed) 118

รูปที่ 3.19	แบบขยายแสดงตำแหน่งการติดตั้ง Velocity Transducer และ Inclinometer Casing	120
รูปที่ 3.20	แบบขยายแสดงตำแหน่งการติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์และปลอก (Casing) ...	121
รูปที่ 3.21	แสดงการติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ในแนวราบ (Horizontal Velocity Transducer)	122
รูปที่ 3.22	แสดงการติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ในแนวตั้ง (Vertical Velocity Transducer)	123
รูปที่ 3.23	แสดงภาพการติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ (Velocity Transducer) ในสนามทั้งในแนวตั้งและแนวราบ	124
รูปที่ 3.24	แสดงภาพการเจาะดินและนำดินขึ้นจากหลุมเจาะโดยวิธีเจาะล้าง (Wash Boring) พร้อมทั้งภาพปลอกเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว	129
รูปที่ 3.25	แสดงการติดตั้งปลอกเหล็กกันหลุมพังทลาย	130
รูปที่ 3.26	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์รอก (Pulley Assembly)	131
รูปที่ 3.27	ผังแสดงการต่อเชื่อมโยงเครื่องมือ Inclinometer	132
รูปที่ 3.28	แสดงการติดตั้งเครื่องมือ Deep Settlement Plate	143
รูปที่ 4.1	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน วัดบนผนังอุโมงค์ส่งน้ำกับบรรทัดฐานด้านอันตรายที่ เกิดกับโครงสร้างอาคารในการตอกเสาเข็มของอาคารกวนตก ตะกอน หมายเลข 9	165
รูปที่ 4.2	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน วัดบนผนังอุโมงค์ส่งน้ำกับบรรทัดฐานด้านอันตรายที่ เกิดกับโครงสร้างอาคารในการตอกเสาเข็มของอาคารกวนตก ตะกอน หมายเลข 10	166
รูปที่ 4.3	แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน วัดบนผนังของอาคารกรองน้ำเดิมกับบรรทัดฐานของ อันตรายที่เกิดกับโครงสร้างอาคารในการตอกเสาเข็ม	167
รูปที่ 4.4	แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อนที่พลังงานการตอก 23,000 จูล และ 55,000 จูล วัดบนผนังอุโมงค์ส่งน้ำห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ระยะ 8 เมตร	168

รูปที่ 4.5	แสดงกราฟความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงาน 39,000 จูล วัดบนผนังอุโมงค์ส่งน้ำ ห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ระยะ 8.50 เมตร	169
รูปที่ 4.6	แสดงกราฟความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงานการตอก 23,000 จูล วัดบนเสา ของอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 11 ห่างจากจุดตอก เสาเข็มอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 , 10.00 เมตร	170
รูปที่ 4.7	แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงานการตอก 39,000 จูล วัดบนผนังของอุโมงค์ ส่งน้ำ ห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 ระยะ 8.50 เมตร และ 9.50 เมตร	171
รูปที่ 4.8	แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงานการตอก 39,000 จูล วัดบนเสาของอาคาร กวนตกตะกอน หมายเลข 11 ห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตก ตะกอน หมายเลข 10 ระยะ 10.00 เมตร และ 11.00 เมตร	172
รูปที่ 4.9	แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงานการตอก 39,000 จูล ที่ผนังของอุโมงค์ส่งน้ำ ห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 ระยะ 10.50 เมตร และ 11.50 เมตร	173
รูปที่ 4.10	แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงานการตอก 39,000 จูล วัดบนเสาของอาคาร กวนตกตะกอน หมายเลข 11 ห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตก ตะกอนหมายเลข 10 ระยะ 12.00 เมตร และ 13.00 เมตร	174
รูปที่ 4.11	แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงานการตอก 39,000 จูล วัดบนผนังของอุโมงค์ ส่งน้ำห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 ระยะ 12.50 เมตร และ 13.50 เมตร	175
รูปที่ 4.12	แสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความ ลื่นสะท้อน ที่พลังงานการตอก 39,000 จูล วัดบนเสาของอาคาร	

กวนตกตะกอน หมายเลข 11 ห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตก
 ตะกอน หมายเลข 10 ระยะ 14.00 เมตร และ 15.00 เมตร 176

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปรียบเทียบความเร็วของการล้นของอนุภาคของความ
 ล้นสะเทือน ที่พลังงานการตอก 39,000 จูล วัดบนผนังของอุโมงค์
 ส่งน้ำห่างจากจุดตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10
 ระยะ 14.50 เมตร และ 15.50 เมตร 177

รูปที่ 4.14 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้งที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง
 ฐานรากห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 3.00 เมตร 178

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง
 ฐานรากห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 3.50 เมตร 179

รูปที่ 4.16 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง
 ฐานรากห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 4.00 เมตร 180

รูปที่ 4.17 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิมซึ่ง
 ฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 4.50 เมตร 181

รูปที่ 4.18 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง
 ฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 5.00 เมตร 182

รูปที่ 4.19 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง
 ฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 5.50 เมตร 183

รูปที่ 4.20 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม
 ซึ่งฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 6.50 เมตร 184

รูปที่ 4.21 แสดงกราฟความเร็วของการล้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน
 ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง
 ฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 8.00 เมตร 185

รูปที่ 4.22	แสดงกราฟความเร็วของการสิ้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน ในแนวตั้งที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง ฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 9.00 เมตร	186
รูปที่ 4.23	แสดงกราฟความเร็วของการสิ้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน ในแนวตั้งที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง ฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 13.00 เมตร	187
รูปที่ 4.24	แสดงกราฟความเร็วของการสิ้นของอนุภาคของความล้นสะเทือน ในแนวตั้ง ที่พลังงานต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรองน้ำเดิม ซึ่ง ฐานรากอยู่ห่างจากจุดตอกเสาเข็ม 14.00 เมตร	188
รูปที่ 4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการสิ้นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +15.50 เมตร (อาคาร กวนตกตะกอน หมายเลข 9)	189
รูปที่ 4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการสิ้นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +15.50 เมตร (อาคาร กวนตกตะกอน หมายเลข 10 วัดบนอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 11) .	190
รูปที่ 4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการสิ้นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +14.50 เมตร (อาคาร กวนตกตะกอน หมายเลข 10 วัดบนอุโมงค์ส่งน้ำ)	191
รูปที่ 4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการสิ้นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +16.00 , +15.50 เมตร (อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 วัดบนอุโมงค์ส่งน้ำ)	192
รูปที่ 4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการสิ้นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ + 17.50, +15.50 , + 15.00 เมตร (อาคารกรองน้ำ)	193
รูปที่ 4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการสิ้นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +14.50 , +14.00 เมตร (อาคารกรองน้ำ)	194
รูปที่ 4.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการสิ้นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +16.50 , +16.00 , +15.50 เมตร (อาคารกรองน้ำ)	195

รูปที่ 4.32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการลื่นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ + 15.00 , +14.50 +14 (อาคารกรองน้ำ)	196
รูปที่ 4.33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการลื่นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +16.00 , +15.50 +15.00 (อาคารกรองน้ำ)	197
รูปที่ 4.34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการลื่นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +14.50 และ +14.00 เมตร (อาคารกรองน้ำ)	198
รูปที่ 4.35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการลื่นของอนุภาคกับ ระยะห่างเมื่อปลายเสาเข็มจมถึงระดับ +15.00 , +14.50 +14.00 เมตร (อาคารกรองน้ำ)	199
รูปที่ 4.36	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างสูงสุดที่เกิดขึ้น ในระหว่างการตอกเสาเข็มทั้งหมด	200
รูปที่ 4.37	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน เมื่อตอกเสาเข็มด้วยวิธีเจาะนำก่อนเสร็จเรียบร้อย	201
รูปที่ 4.38	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินสูงสุด ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตอกเสาเข็มทั้งหมด	202
รูปที่ 4.39	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินเมื่อ ทำการตอกเสาเข็มด้วยวิธีเจาะนำก่อนเสร็จเรียบร้อย	203
รูปที่ 4.40	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินสูงสุด ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตอกเสาเข็มทั้งหมด	204
รูปที่ 4.41	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน เมื่อทำการตอกเสาเข็มด้วยวิธีเจาะนำก่อนเสร็จเรียบร้อย	205
รูปที่ 4.42	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กับ ปริมาตรของเสาเข็มในกลุ่มเสาเข็มที่ตอก ด้วยวิธีเจาะนำก่อน ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ทิศทาง A-A ..	206
รูปที่ 4.43	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กับ ปริมาตรของเสาเข็มในกลุ่มเสาเข็มที่ตอกด้วย วิธีเจาะนำก่อน ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ทิศทาง B-B	207

รูปที่ 4.44	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินกับ ปริมาตรของเสาเข็มในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มการตอกจนถึงที่สุดการ ตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ทิศทาง A-A	208
รูปที่ 4.45	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินกับปริมาตรของเสาเข็มในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มการตอกจนถึงที่สุดการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ทิศทาง B-B	209
รูปที่ 4.46	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ กับ ปริมาตรของเสาเข็มในกลุ่มเสาเข็มที่ตอกด้วยวิธีเจาะนำก่อน ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 ทิศทาง A-A	210
รูปที่ 4.47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ กับ ปริมาตรของเสาเข็มในกลุ่มเสาเข็มที่ตอกด้วยวิธีเจาะนำก่อน ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10 ทิศทาง B-B	211
รูปที่ 4.48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินกับปริมาตรของเสาเข็มในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มการตอกจนถึงที่สุดการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ทิศทาง A-A ..	212
รูปที่ 4.49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินกับปริมาตรของเสาเข็ม ในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มตอกจนถึงที่สุดการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 ทิศทาง B-B ..	213
รูปที่ 4.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ กับปริมาตรของเสาเข็มในกลุ่มเสาเข็มที่ตอกด้วยวิธีเจาะนำก่อน ณ อาคารกรองน้ำ ทิศทาง A-A	214
รูปที่ 4.51	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ กับปริมาตรของเสาเข็มในกลุ่มเสาเข็มที่ตอกด้วยวิธีเจาะนำก่อน ณ อาคารกรองน้ำ ทิศทาง B-B	215
รูปที่ 4.52	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินกับปริมาตรของเสาเข็มในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มการตอกจนถึงที่สุดการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกรองน้ำ ทิศทาง A-A	216

- รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน
กับปริมาตรของเสาเข็มในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มตอกจนถึงสิ้นสุด
การตอกเสาเข็ม ณ อาคารกรองน้ำ ทิศทาง A-A 217
- รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน
กับปริมาตรของเสาเข็มในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มตอกจนถึงสิ้นสุดการ
ตอกเสาเข็ม ณ อาคารกรองน้ำ ทิศทาง B-B 218
- รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน
กับปริมาตรของเสาเข็มในการตอกเสาเข็มทั้งหมดตั้งแต่เริ่มตอกจนถึงสิ้นสุด
การตอกเสาเข็ม ณ อาคารกรองน้ำ ทิศทาง B-B 219



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าความรุนแรงของความลั่นสะเทือนในรูปของความถี่ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้าง 38
ตารางที่ 2.2	แสดงค่าที่เริ่มเข้าสู่อันตรายของวัสดุต่าง ๆ 39
ตารางที่ 2.3	แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบของความลั่นสะเทือน ที่มีต่อมนุษย์และสิ่งปลูกสร้างทางวิศวกรรม 41
ตารางที่ 2.4	แสดงผลกระทบที่มีต่ออาคารและ โครงสร้างทางวิศวกรรม ในหน่วย Vibrar 43
ตารางที่ 2.5	แสดงค่าความรุนแรงของความลั่นสะเทือน ในหน่วยของ Zeller Pal Scale 47
ตารางที่ 2.6	แสดงระดับความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับชั้นความรุนแรง ของความลั่นสะเทือนที่เสนอโดย SIOR 50
ตารางที่ 2.7	แสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับโครงสร้างชนิดต่าง ๆ 52
ตารางที่ 2.8	แสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับโครงสร้างชนิดต่าง ๆ (ปรับปรุงจากตารางที่ 2.7) 52
ตารางที่ 2.9	แสดงการเปรียบเทียบขนาดของแอมพลิจูดและความเร็วสูงสุด ของการลั่นของอนุภาคตามบรรทัดฐานระบบต่าง ๆ 54
ตารางที่ 2.10	แสดงการเปรียบเทียบระดับความลั่นสะเทือน ในรูปของความเร่งและพลังงาน 54
ตารางที่ 2.11	แสดงระดับของความลั่นสะเทือนที่มีผลต่อการตอบสนองของมนุษย์ 63
ตารางที่ 2.12	แสดงการคำนวณค่า DIECKMANN'S VALUE 63
ตารางที่ 2.13	แสดงค่าแอมพลิจูดที่ระดับความรู้สึกไม่สะดวกสบายจากความลั่นสะเทือน. 63
ตารางที่ 2.14	แสดงความถี่ที่เกิดขึ้นในชั้นดินชนิดต่าง ๆ (WISS, 1967) 70
ตารางที่ 2.15	แสดงผลของความถี่ที่ได้จากการทดสอบชั้นดินต่างชนิดในประเทศญี่ปุ่น .. 72
ตารางที่ 2.16	แสดงค่า สำหรับชั้นดินต่าง ๆ ซึ่งแนะนำโดยผู้ศึกษาในอดีต 74
ตารางที่ 2.17	แสดงค่า ที่แปรไปตามความถี่และมีค่าแตกต่างกัน 74

ตารางที่ 2.18	แสดงความไวตัวของเครื่องมือในห้องปฏิบัติการเนื่องจากความลื่นสะเทือน	88
ตารางที่ 3.1	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเสาเข็มและการตอกเสาเข็ม	119
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับความลึกต่าง ๆ วัดที่ผนังของ อุโมงค์ส่งน้ำพลังงานการตอกเสาเข็ม 23,000 จูล ในการตอกเสา เข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9	151
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับความลึกต่าง ๆ วัดที่ผนังของ อุโมงค์ส่งน้ำ พลังงานการตอกเสาเข็ม 39,000 จูล ในการตอกเสา เข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9	151
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอุโมงค์ ส่งน้ำ พลังงานการตอกเสาเข็ม 55,000 จูล ในการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9	152
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอุโมงค์ ส่งน้ำ พลังงานการตอกเสาเข็ม 39,000 จูล ในการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10	153
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดบนเสาของอาคาร กวนตกตะกอน หมายเลข 11 พลังงานการตอกเสาเข็ม 31,000 จูล ในการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10	154
ตารางที่ 4.6	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดบนเสาของอาคาร กวนตกตะกอนหมายเลข 11 พลังงานการตอกเสาเข็ม 39,000 จูล ในการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 10	155
ตารางที่ 4.7	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคารกรอง น้ำเดิม พลังงานการตอกเสาเข็ม 15,000 จูล ในการตอกเสาเข็ม ณ อาคารกรองน้ำใหม่	156

ตารางที่ 4.8	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคาร กรองน้ำเดิม พลังงานการตอกเสาเข็ม 23,000 จูล ในการตอกเสา เข็ม ณ อาคารกรองน้ำใหม่	157
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคาร กรองน้ำเดิม พลังงานการตอกเสาเข็ม 31,000 จูล ในการตอก เสาเข็ม ณ อาคารกรองน้ำใหม่	158
ตารางที่ 4.10	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคาร กรองน้ำเดิม พลังงานการตอกเสาเข็ม 39,000 จูล ในการตอก เสาเข็ม ณ อาคารกรองน้ำใหม่	159
ตารางที่ 4.11	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคาร กรองน้ำเดิม พลังงานการตอกเสาเข็ม 47,000 จูล ในการตอกเสา เข็ม ณ อาคารกรองน้ำใหม่	160
ตารางที่ 4.12	แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของการลื่นของอนุภาคของความลื่นสะเทือน ในแนวตั้งที่ปลายเสาเข็มจมลึกถึงระดับต่าง ๆ วัดที่ผนังของอาคาร กรองน้ำเดิม พลังงานการตอกเสาเข็ม 55,000 จูล ในการตอกเสา เข็ม ณ อาคารกรองน้ำใหม่	160
ตารางที่ 4.13	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินจากค่าเริ่มแรก (Initial) ในช่วงการตอกเข็มแบบเจาะนำก่อน	
ตารางที่ 4.14	แสดงระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินจากค่าเริ่มแรก (Initial) ตั้งแต่เริ่มต้นการตอกเสาเข็มจนเสร็จสิ้นการตอก	161
ตารางที่ 4.15	แสดงสมการของความลื่นสะเทือน	162
ตารางที่ 4.16	แสดงสมการของความลื่นสะเทือน	163
ตารางที่ 4.17	แสดงสมการของความลื่นสะเทือน	164
ตารางที่ 4.18	แสดงค่าระดับและการทรุดตัวของ Deep Settlement Plate	220